Journal of Agricultural Machinery
Vol. 8, No. 2, Fall - Winter 2018, p. 463-473

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۸، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۷، ص ۴۷۳-۴۶۳

یادداشت پژوهشی

طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه خردکن ذرت علوفه‌ای با محرکه الکتریکی

رمضان هادی‌پوررکنی[۱]- عباس رضایی اصل[۲*]- رضا طباطبایی کلور[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۲۷

چکیده

در اغلب دامداری‌های سنتی کوچک و متوسط، خرد کردن ذرت علوفه‌ای به‌روش دستی انجام می‌گیرد. در این تحقیق به‌منظور رفع نیاز واحدهای کوچک دامپروری، دستگاه خردکن ذرت علوفه‌ای در مقیاس کوچک به‌وسیله نرم‌افزار Solid Works طراحی و ساخته شد. برای ارزیابی دستگاه، تأثیر سرعت دوران تیغه خردکن (۴۰۰، ۵۵۰، ۷۰۰ دور در دقیقه) و سرعت دوران غلتک‌های تغذیه (۳۵۰، ۴۰۰، ۴۵۰ دور در دقیقه) بر عملکرد دستگاه خردکن شامل انرژی مصرفی مخصوص تیغه خردکن، انرژی مصرفی مخصوص غلتک‌های تغذیه، طول ذرت خرد شده و ظرفیت دستگاه در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار با نرم‌افزار آماری SPSS مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحلیل تنش نشان داد که در شرایط کاری تعیین شده (سرعت دورانی تیغه، عرض تیغه و میزان تغذیه) دستگاه می‌تواند به‌طور ایمن کار کند. با مطالعه مقدار نیروی برش ساقه ذرت، توان مورد نیاز دستگاه حدود ۴ کیلووات و ظرفیت نظری آن ۱/۱۳ کیلوگرم در ثانیه محاسبه گردید. نتایج نشان داد که در سطح احتمال یک درصد، تأثیر هر دو عامل و نیز اثر متقابل آن‌ها بر میزان انرژی مصرفی مخصوص تیغه خردکن، طول ذرت خرد شده و ظرفیت دستگاه معنی‌دار است. ظرفیت دستگاه با افزایش سرعت تیغه خردکن از ۴۰۰ به ۵۵۰ دور در دقیقه افزایش یافت، اما در سرعت ۷۰۰ دور در دقیقه، کاهش پیدا کرد. کمترین انرژی مصرفی مخصوص (۱/۲۶ مگاژول بر تُن) و بیشترین ظرفیت دستگاه (۹۵۰ کیلوگرم بر ساعت) با توجه به طول مناسب ذرت خرد شده (۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر) در سرعت تیغه ۵۵۰ دور در دقیقه و سرعت تغذیه ۴۰۰ دور در دقیقه به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: تیغه خردکن، چاپر، ذرت علوفه‌ای

مقدمه

در دامداری‌های سنتی، خردکردن ذرت علوفه‌ای هنوز به‌روش دستی و به‌وسیله داس و قداره انجام می‌گیرد. از دلایل این امر می‌توان به عدم دسترسی دستگاه خردکن با ظرفیت کاری مناسب و هزینه بالای خرید دستگاه‌های موجود در بازار (خردکن پشت تراکتوری) اشاره نمود. در استان گلستان که یکی از مهمترین مراکز تولید فرآورده‌های گوشتی و شیری کشور می‌باشد، دامداری‌های ۱۰ تا ۳۰ راسی فراوانند. اساساً برای این گروه از تولیدکنندگان خرید خردکن ذرت، صرفه اقتصادی ندارد. وجود دستگاه خردکن ذرت با ظرفیت کم که جوابگوی نیاز این واحدهای کوچک را برآورده کند می‌تواند گره‌گشای مشکل بسیاری از تولیدکنندگان باشد.

در تحقیقی با استفاده از دستگاه آزمون برش پاندولی، انرژی برشی ساقه ذرت در سطوح مختلف رطوبت ۸۳/۲۵، ۷۴/۳ و ۶۳ درصد و سطوح برش ساقه در ارتفاع ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که با کاهش رطوبت از ۸۳/۲۵ به ۶۳ درصد، انرژی برشی افزایش یافت (Azadbakht *et al.*, 2014).
نتایج به‌دست آمده از پژوهش با موضوع بررسی تأثیر زاویه تمایل ساقه در سه سطح (صفر، ۲۰، ۴۵ درجه)، زاویه تیغه برش (صفر، ۲۰، ۴۰ درجه) و فاصله بین تیغه و ضد تیغه (۰/۳، ۰/۸، ۱/۳ میلی‌متر) بر روی نیروی برش، مقاومت برشی و انرژی مصرفی در واحد سطح ساقه ذرت علوفه‌ای نشان داد؛ کمترین مقدار مقاومت برشی ساقه به میزان ۰/۳۸ نیوتن بر میلی‌متر مربع در فاصله بین تیغه و ضد تیغه ۰/۳ میلی‌متر و در زاویه تمایل ساقه ۴۵ درجه و زاویه تیغه برش ۴۰ درجه است (Tabatabaei and Hadipoor, 2016).

نتایج تحقیق بررسی سینماتیک تیغه برش از جمله زاویه لبه، شکل لبه، فاصله تیغه و ضدتیغه و سرعت تیغه نشان داد که این

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناس ارشد و استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*- نویسنده مسئول: Email: abrezaeiasl@gmail.com)
DOI: 10.22067/jam.v8i2.64433

عوامل بر فرآیند برش تأثیر معنی‌داری دارند (Igathinathane *et al.*, 2010; Womac *et al.*, 2005).

تعیین انرژی مکانیکی لازم برای خرد کردن سه نوع محصول ازجمله ذرت، کاه گندم و علف به‌وسیله یک دستگاه خردکن نشان داد مجموع انرژی خالص برای علف، کاه گندم و ذرت با افزایش سرعت تیغه‌های برشی روند افزایشی داشت و مجموع انرژی کل و انرژی مؤثر با کاهش اندازه ذرات افزایش یافت (Bitra *et al.*, 2009). همچنین نتایج ارزیابی مقدار انرژی برشی و اندازه ذرات خرد شده بر روی باقیمانده چهار محصول کشاورزی جو، جو دو سر، کلزا و کاه گندم نشان داد که با کاهش اندازه ذرات، انرژی برشی به‌طور قابل‌توجهی افزایش پیدا کرد. بیشترین انرژی برشی برای خردکردن جو و کمترین انرژی برشی برای خردکردن کلزا به‌دست آمد (Adapa *et al.*, 2011).

در تحقیقی تأثیر دور تیغه برش و دور غلتک تغذیه بر روی انرژی مصرفی دستگاه خردکن ذرت با سیستم تغذیه عمودی و صفحه برش افقی مورد ارزیابی گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد میزان دور صفحه برش در سطح احتمال ۵٪ بر میزان انرژی برشی ساقه‌های ذرت و توان مصرفی واحد برش تأثیرگذار است و با افزایش دور صفحه برش، انرژی مصرفی افزایش می‌یابد. همچنین تأثیر دور صفحه برش و دور غلتک تغذیه در سطح احتمال ۵٪ بر روی طول قطعات بریده شده معنی‌دار است. طول مناسب ذرت خرد شده برای مصرف تازه‌خوری دام ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر معرفی شد (Tamaskani Zahedi, 2014).

نمونه‌ای از سامانه برش مربوط به دستگاه خردکن ذرت علوفه‌ای طراحی شد. در این تحقیق، تیغه‌های برش با آرایش V شکل بر روی استوانه برش با عرض ۹۲۰ میلی‌متر و قطر ۸۵۰ میلی‌متر نصب شد. برای کاهش ارتعاش دستگاه، کاهش گشتاور لازم برای برش محصول و درنتیجه کاهش انرژی مصرفی، تیغه‌ها به‌صورت مورب و با زاویه ۸- ۱۳ درجه نسبت به خط افق قرار گرفت (Krone and Heinz, 2002).

تأثیر زاویه قرارگیری ساقه ذرت بر نیرو و انرژی برش در فواصل بین گره‌ها بررسی شد. با قرارگیری ساقه در زاویه ۴۵ درجه نسبت به تیغه، نیرو و انرژی برش حدود ۵۰ درصد کاهش یافت (Igathinathane *et al.*, 2010). در تحقیقی حداکثر نیرو و انرژی برشی کل برای ساقه کنف به‌ترتیب ۲۴۳ نیوتن و ۲/۱ ژول به‌دست آمد (Chen *et al.*, 2004)، همچنین تنش برشی و انرژی برشی برای علوفه را به‌ترتیب ۱۶ مگاپاسکال و ۱۲ مگاژول بر میلی‌مترمربع اندازه‌گیری شد (McRandal and McNulty, 1980).

نتایج تحقیق در پنج سطح رطوبتی ساقه آفتابگردان نشان داد که تنش و انرژی برشی با افزایش رطوبت افزایش پیدا کرد. مقادیر حداکثر تنش و انرژی برشی ساقه آفتابگردان به‌ترتیب ۱/۰۷ مگاپاسکال و ۱۰/۰۸ مگاژول بر میلی‌مترمربع به‌دست آمد (Ince *et al.*, 2005)، همچنین تنش برشی به‌دست آمده از ساقه یونجه بین ۰/۴ الی ۱۸ مگاپاسکال گزارش شد (HalykHurlbut, 1968).

در حال حاضر از مجموع ۵۲۰ هزار هکتار سطح زیر کشت ذرت شامل ۳۰۰ هزار هکتار ذرت دانه‌ای و ۲۲۰ هزار هکتار ذرت علوفه‌ای، ۲ تا ۲/۵ میلیون تن ذرت دانه‌ای و ۱۱ تا ۱۲ میلیون تن ذرت سیلویی تولید می‌شود. با توجه به وجود حدود بیست هزار واحد تولیدی کوچک (۲۰ تا ۳۰ راسی گاو و گوساله) در کشور (Tamaskani Zahedi, 2014)، هدف از این تحقیق؛ طراحی، ساخت و ارزیابی یک دستگاه خردکن ذرت علوفه‌ای در مقیاس کوچک می‌باشد تا بتواند مشکل این واحدها را در زمینه خردکردن ذرت علوفه‌ای برطرف نماید.

مواد و روش‌ها

مشخصات دستگاه

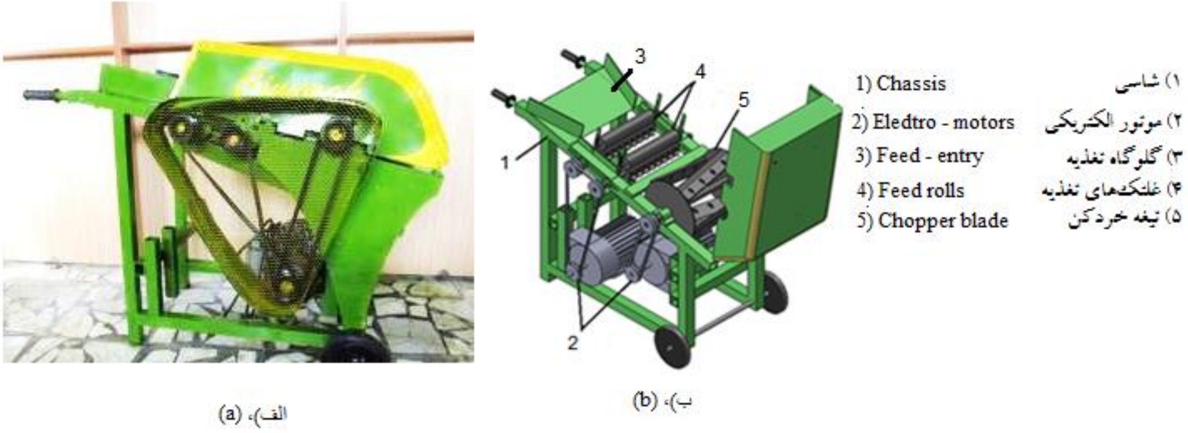
دستگاه خردکن ذرت علوفه‌ای برای واحدهای کوچک دامداری به‌وسیله نرم‌افزار Solid Works طراحی گردید و در کارگاه ساخت و تولید گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان ساخته شد. این دستگاه شامل قسمت‌های مختلف از جمله شاسی، سامانه نیرو محرکه و انتقال نیرو، سامانه تغذیه و سامانه برش است. نیرو محرکه دستگاه توسط یک الکتروموتور سه‌فاز ۴ کیلووات تأمین شد (شکل۱- الف). به‌منظور ارزیابی سامانه تغذیه و سامانه برش به‌طور جداگانه، استفاده از دو الکتروموتور طرح‌ریزی شد (شکل۱- ب).

شاسی

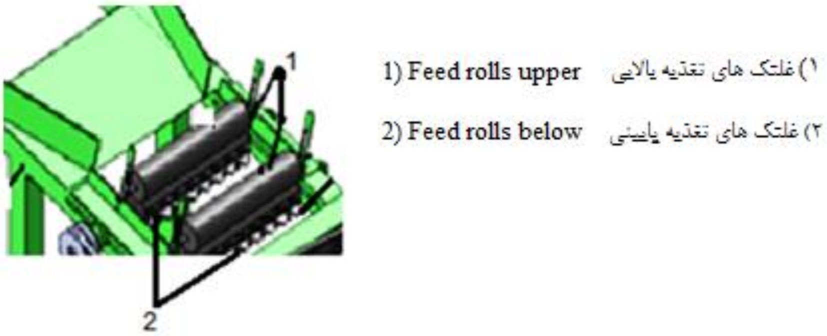
شاسی دستگاه متشکل از قابی با قوطی فلزی ۴×۴ سانتی‌متر و به ابعاد۸۰×۶۰×۱۰۰ سانتی‌متر ساخته شده و دو چرخ در قسمت جلو برای جابه‌جایی دستگاه در نظر گرفته شد.

سامانه تغذیه علوفه

این واحد از یک کانال شیب‌دار برای هدایت علوفه به داخل دستگاه و چهار غلتک تغذیه به‌طول ۳۰۰ میلی‌متر و قطر ۶۰ میلی‌متر که دو غلتک محرک با سطح دندانه‌دار در قسمت پایین و دو غلتک متحرک با سطح صاف در قسمت بالا تشکیل شده است (شکل ۲). غلتک بالایی قابلیت جابه‌جایی عمودی تا ارتفاع ۴۰ میلی‌متر را داشت. برای افزایش گیرایی و هدایت بهتر علوفه به‌طرف واحد برش، غلتک‌های بالایی به‌وسیله دو فنر کناری بر روی علوفه فشار وارد می‌نمود.



شکل ۱– دستگاه خردکن ساخته شده (الف)، طرحواره دستگاه (ب)
Fig.1. The constructed (a) and schematic (b) chopper



شکل ۲– سامانه تغذیه
Fig.2. Feed unit

برای محاسبه مساحت گلوگاه تغذیـه، ظرفیـت نظـری دسـتگاه و توان مصرفی واحد تغذیه از روابط زیـر اسـتفاده شـد (Behrozi-lar, 1999).

$$A_t = L.h \quad (۱)$$

$$\dot{m}f = \frac{\rho_f . A_t . L_c . \lambda_k . n_c}{6\times10^8} \quad (۲)$$

$$P_h = C_{h0} + C_{h1}\dot{m}_f \quad (۳)$$

با جای‌گذاری اعداد مربوطه در روابط فوق داریم:

$$A_t = 25\times2.5 = 62.5cm^2$$

$$\dot{m}_f = \frac{340\times62.5\times20\times4\times400}{6\times10^8} = 1.13kgs^{-1}$$

$$P_h = 0.3 + 0.6\times1.13 = 0.97kw$$

که در روابط فوق:

A_t= مساحت گلوگاه تغذیه (سانتی‌متر مربع)

L= طول موثر استوانه برش (سانتی‌متر)

H= بیشترین فاصله غلتک تغذیه بالا و پایین (سانتی‌متر)

$\dot{m}_f$ = ظرفیت نظری خردکن (کیلوگرم بر ثانیه)

P_h= توان مصرفی واحد تغذیه

C_{hl}= ضریب توان (کیلووات ثانیه بر کیلوگرم)

ρ_f = وزن مخصوص علوفه در گلوگاه برش (کیلـوگرم بـر متـر مکعب)

L_c= طول نظری قطعات خرد شده (میلی‌متر)

λ_k = تعداد تیغه برش

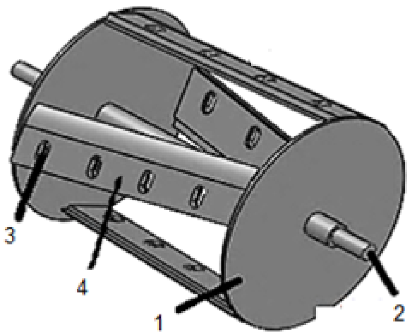
n_c= سرعت دورانی استوانه برش (دور در دقیقه)

C_{ho}= توان مصرفی بدون بار واحد تغذیه (کیلووات)

سامانه برش

سامانه برش از دو صفحه مدور بـه قطـر ۳۰ سـانتی‌مترکـه یـک

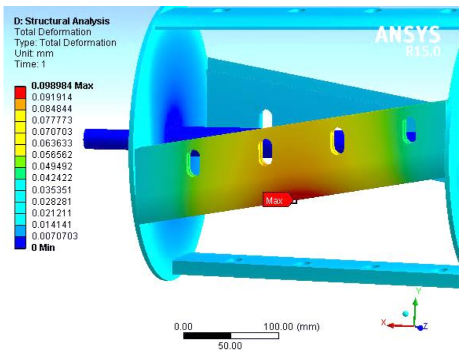
شافت از میان آنها عبور کرده و چهار تسمه فلزی برای نشیمن‌گاه تیغه‌ها با ضخامت ۶ میلی‌متر و زاویه ۱۰ درجه، آن‌ها را به‌هم متصل کرده است. چهار عدد تیغه برش به طول ۳۰ سانتی‌متر با زاویه تیزی ۳۰ درجه و سختی ۶۰ راکول انتخاب شد (Igathinathane *et al.*, 2010). به‌منظور کاهش ارتعاش دستگاه، کاهش گشتاور لازم برای برش محصول و درنتیجه کاهش انرژی مصرفی مخصوص، تیغه‌ها به‌طور مورب با زاویه ۱۰ درجه نسبت به خط افق و به‌وسیله پیچ و مهره بر روی تسمه فلزی نصب شد (شکل ۳).



شکل ۳- طرحواره واحد برش

Fig.3. Schematic of cutter unit

بیشترین تنش در قسمت برش و در ناحیه میانی تیغه‌های استوانه برش بود (شکل ۴). برای کاهش تنش و تقویت قسمت میانی نشیمن‌گاه تیغه‌ها که در اثر ضربات برش ممکن است تغییر شکل بدهند، میله‌هایی عمود بر میل‌محور به آن متصل شد تا از تغییر شکل احتمالی جلوگیری شود (شکل ۵).



شکل٤- تحلیل تنش واحد برش

Fig.4. Stress analysis of cutting unit



شکل٥- تقویت ناحیه میانی نشیمن‌گاه تیغه

Fig.5. Reinforcing the blades

برای انتخاب الکتروموتور مناسب بـرای دسـتگاه خـردکن، تـوان مصرفی واحد برش از رابطه زیر به‌دست آمد:

$$P_c = \frac{1000 C_f F_s \dot{m}_f}{\rho_f L_c}$$

$$P_c = \frac{1000\times 0.64\times 26.50\times 1.13}{340\times 20} = 2.82 \quad kW \qquad (۴)$$

P_c= توان مصرفی واحد برش (کیلووات)

C_f= نیروی برشی متوسط به نیروی مصرفی برشی

F_s= بیشترین نیروی ویژه برش (میلی متر نیوتون)

ρ_f = جرم مخصوص علوفـه در گلوگـاه بـرش (کیلـوگرم بـر متـر مکعب)

$\dot{m}_f$ = ظرفیت نظری خردکن (کیلوگرم بر ثانیه)

L_c= طول نظری قطعات خرد شده (میلی‌متر)

سامانه نیرو محرکه و انتقال قدرت

از آنجایی‌که در این دستگاه، علوفه پـس از خردشـدن بـا نیـروی ضربه تیغه‌ها و به‌طـور ثقلـی بـه زیـر دسـتگاه هـدایت و جمـع‌آوری می‌شود، محاسبات مربوط به واحد دمنده و پرتاب‌کن علوفه حذف شد. توان مورد نیاز دستگاه از مجموع توان مصـرفی واحـد تغذیـه و واحـد برش به‌دست آمد.

$$P = P_h + P_c \qquad (۵)$$

$$P = 0.97 + 2.82 = 3.79\ kW$$

با توجه به تعداد تیغه‌های برشی (۴ عدد) در استوانه برشی و اندازه قطعات قابل استفاده برای دام که در حـدود ۰/۵ سـانتی‌متـر تـا چنـد سانتی‌متر است (حد مطلوب ۲ تا ۳ سانتی‌متر)، در محاسبات، سـرعت دورانی استوانه بـرش ۴۰۰ دور در دقیقـه در نظـر گرفتـه شـد، بـرای ارزیابی دستگاه و تعیین دور بهینه واحـد بـرش، دورهـای ۵۵۰ و ۷۰۰ دور در دقیقه هم انتخاب شدند. با توجـه بـه تـوان انتقـالی و سـرعت دوران، تسمه از نوع C با قطر گام قرقـره ۹ و تـوان انتقـالی حـدود ۴ کیلووات انتخاب شد و توان مجاز انتقالی تسمه از رابطه (۶) بـه‌دسـت آمد (Shadravan, 2007):

$$Hd = k_1 k_2 H_{tab} \qquad (۶)$$

$$Hd = 0.85\times 1\times 5.65 = 5\ hp$$

ارزیابی دستگاه ساخته شده

روش انجام آزمایش

بوته‌های ذرت علوفه‌ای در فصـل برداشـت از مزرعـه دشـت نـاز ساری تهیه شد و بلافاصله به آزمایشگاه انتقال پیدا کرد. مقدار رطوبت محصول با استفاده از روش خشک کردن در آون به مدت ۲۴ سـاعت و در دمـای ۱۱۰ درجـه سـانتی‌گـراد، ۶۱/۸ درصـد بـه‌دسـت آمـد (Azadbakht *et al.*, 2014). برای دست‌یابی به سرعت دروانی مورد نظر برای تیغه خردکن و غلتک تغذیـه بـه‌ترتیـب از مبـدل فرکـانس (اینـورتر) ۳/۷ و ۱/۵ کیلـووات (هیوانـدا، کـره جنـوبی) اسـتفاده شـد (شکل۶- الف)، همچنین برای اندازه‌گیری سرعت دورانی تیغه برش و غلتک تغذیه، دورسنج دیجیتالی مکـانیکی- نـوری (AT-8، لـوترون، تایوان) مورد استفاده قرار گرفت (شکل۶- ب). برای اندازه‌گیری توان مصرفی واحد برش و واحد تغذیه از دو دستگاه وات‌متر (DW-6090، چین) استفاده شد و به‌وسیله کابل RS232 و نرم‌افزار مربوطه، تمـامی داده‌ها به‌طور خودکـار در رایانـه ذخیـره شـد (شـکل۶- ج). ظرفیـت دستگاه به‌وسیله یک کرنومتر و با ثبت زمان شـروع و پایـان بـاردهی تعیین گردید، همچنین بـرای انـدازه‌گیـری طـول ذرت خـرد شـده از کولیس با دقت ۰/۰۵± استفاده شد.



(الف) (ب) (ج)

شکل ٦- وسایل اندازه‌گیری

Fig.6. Instrumentation

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تیمارها در سه سطح سرعت تیغه‌خردکن (۴۰۰، ۵۵۰، ۷۰۰ دور در دقیقه) و سرعت غلتک تغذیه (۳۵۰، ۴۰۰، ۴۵۰ دور در دقیقه) انتخاب شدند و تأثیر آن‌ها بر انرژی مصرفی مخصوص تیغه‌خردکن، انرژی مصرفی مخصوص غلتک تغذیه، طول ذرت خرد شده و ظرفیت دستگاه، در قالب طرح کاملاً تصادفی با آزمایش فاکتوریل در سه تکرار با نرم‌افزار آماری SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۱ نشان داد سرعت تیغه خردکن، سرعت غلتک تغذیه و اثر متقابل آنها بر انرژی مصرفی مخصوص تیغه خردکن، ظرفیت دستگاه و اندازه ذرت خرد شده، و اثر سرعت غلتک تغذیه بر انرژی مصرفی مخصوص غلتک تغذیه در سطح یک درصد معنی‌دار است.

ظرفیت دستگاه

ظرفیت دستگاه با افزایش سرعت تیغه خردکن از ۴۰۰ به ۵۵۰ دور در دقیقه افزایش و از ۵۵۰ به ۷۰۰ دور در دقیقه کاهش پیدا کرد. دلیل این امر این است که با افزایش سرعت تیغه در لحظه برخورد به ساقه، الیاف ساقه قبل از اینکه فشرده شوند به‌طور مؤثر بریده می‌شوند و فرصت خم یا له شدن پیدا نمی‌کنند اما وقتی سرعت از حدی بیشتر شود ساقه‌ها زمان بسیار کمی برای قرارگیری بین دو لبه تیغه دارند. در نتیجه نیرویی از تیغه خردکن در جهت عکس حرکت غلتک تغذیه به ساقه‌ها وارد می‌کند و باعث کاهش ظرفیت دستگاه می‌گردد. از آنجایی‌که طول مناسب ذرت خرد شده برای تازه‌خوری دام بین ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر است (Tamaskani Zahedi, 2014)، سرعت۵۵۰ دور در دقیقه برای تیغه خردکن به‌دلیل اندازه مناسب طول قطعات خرد شده، انرژی مصرفی مخصوص کم و ظرفیت بالای دستگاه مناسب می‌باشد.

جدول ۱- تجزیه واریانس عامل‌های مؤثر بر عملکرد دستگاه خردکن ذرت

Table 1- ANOVA of factors affecting the corn chopper performance

		میانگین مربعات Mean square			
منبع تغییر Source of variation	**df**	**ظرفیت دستگاه (کیلوگرم بر ساعت) Machine capacity (kg h^{-1})**	**طول ذرت خرد شده (میلی متر) Chopped corn length(mm)**	**انرژی مصرفی مخصوص غلتک تغذیه (مگاژول بر تُن) Feed roller specific energy consumption (MJ.t^{-1})**	**انرژی مصرفی مخصوص تیغه خردکن (مگاژول بر تُن) Cutter blades specific energy consumption (MJ.t^{-1})**
A سرعت تیغه خردکن (دور در دقیقه) Chopper blade speed (RPM)	2	64275.6**	**4125.8	0.001^{ns}	0.67**
B سرعت غلتک تغذیه (دور در دقیقه) Feed roll speed (RPM)	2	**65163.9	**3951.2	0.03**	0.06**
B×A	4	8271.9**	0.3**	2	0.007**
خطا Error	5	121.8 ^{ns}	28.6 ^{ns}	1.09 ^{ns}	0.001 ^{ns}

** معنی‌دار در سطح احتمال 1 درصد، ns غیر معنی‌دار

** Significant at 1% of probability levels, ns: non-significant

سرعت غلتک تغذیه

نتایج نشان داد که با افزایش سرعت غلتک تغذیه، انرژی مصرفی مخصوص تیغه خردکن کاهش و انرژی مصرفی مخصوص غلتک تغذیه، طول ذرت خرد شده و ظرفیت دستگاه افزایش پیدا کرد (جدول ۲). با افزایش سرعت غلتک تغذیه به‌دلیل زیاد شدن طول قطعات بریده شده و کاهش تعداد برش‌ها، انرژی مصرفی مخصوص

تیغه خردکن کاهش پیدا کرد و طول ذرت خرد شده افزایش یافت. چون ظرفیت دستگاه تابعی از زمان است بنابراین با افزایش سرعت غلتک تغذیه، زمان کمتری برای خردکردن ذرت صرف شده، در نتیجه باعث افزایش ظرفیت دستگاه شد. بیشترین مقدار انرژی مصرفی مخصوص تیغه خردکن در سرعت تغذیه ۳۵۰ دور در دقیقه به‌دست آمد. با در نظر گرفتن اندازه مناسب ذرت خرد شده برای دام و مناسب بودن انرژی مصرفی مخصوص و ظرفیت دستگاه، سرعت بهینه غلتک تغذیه ۴۰۰ دور در دقیقه می‌باشد.

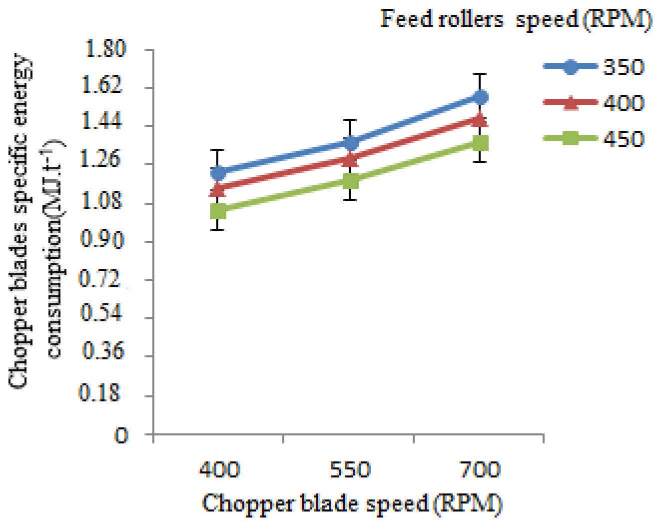
جدول ۲– مقایسه میانگین فاکتورهای مؤثر بر عملکرد دستگاه خردکن ذرت

Table 2- Mean comparison of the factors affecting performance corn chopper

مشخصه Specification		ظرفیت دستگاه (کیلوگرم بر ساعت) Machine capacity (kg h^{-1})	طول‌ذرت خرد شده (میلی‌متر) Chopped corn length (mm)	انرژی‌مصرفی مخصوص غلتک‌تغذیه (مگاژول بر تُن) Feed roller specific energy consumption ($MJ.t^{-1}$)	انرژی‌مصرفی مخصوص تیغه‌خردکن (مگاژول بر تُن) Cutter blades specific energy consumption ($MJ.t^{-1}$)
سرعت تیغه خردکن Cutter blades speed (RPM)	400	879c	51.09a	ns	1.12b
	550	898a	35.48b	ns	1.22b
	700	892b	26.68c	ns	1.47a
سرعت غلتک‌های تغذیه Feed rollers speed (RPM)	350	861c	26.33c	0.07c	1.48a
	400	918b	36.49b	0.08b	1.22b
	450	959a	50.43a	0.09a	1.15b

اثرات متقابل

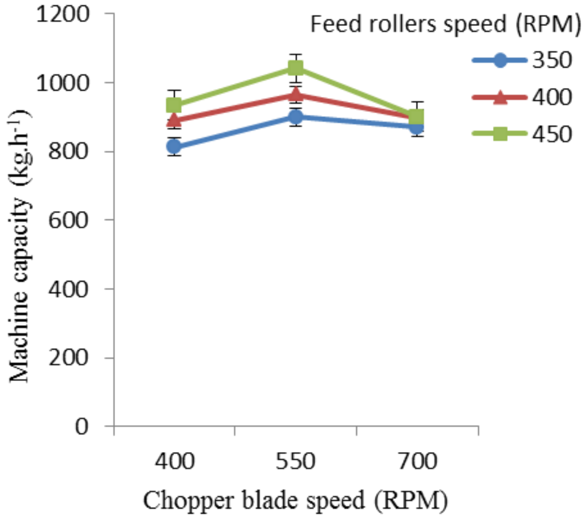
نتایج اثر متقابل سرعت تیغه خردکن و سرعت غلتک تغذیه بر انرژی مصرفی مخصوص تیغه خردکن نشان داد که بیشترین مقدار انرژی مصرفی مخصوص در سرعت تیغه خردکن ۷۰۰ دور در دقیقه و سرعت غلتک تغذیه ۳۵۰ دور بر دقیه بوده و کمترین مقدار انرژی مصرفی مخصوص در سرعت ۴۰۰ دور در دقیقه و سرعت غلتک تغذیه ۴۵۰ دور در دقیقه است (شکل ۷). با کاهش سرعت تیغه خردکن و افزایش سرعت غلتک تغذیه، ساقه‌ها فرصت کمتری برای قرارگیری مناسب بین لبه‌های تیغه‌ها دارند لذا تعداد برش ساقه ذرت کاهش یافته در نتیجه باعث افزایش طول ذرت خرد شده و کاهش انرژی مصرفی مخصوص تیغه خردکن می‌شود (Adapa *et al.*, 2011; Bitra *et al.*, 2009; Tamaskani Zahedi, 2014).



شکل ۷- اثر متقابل سرعت تیغه خردکن و سرعت غلتک تغذیه بر انرژی مصرفی مخصوص تیغه خردکن

Fig.7. Interaction between the chopper blades speed and feed roller speed on specific energy consumption

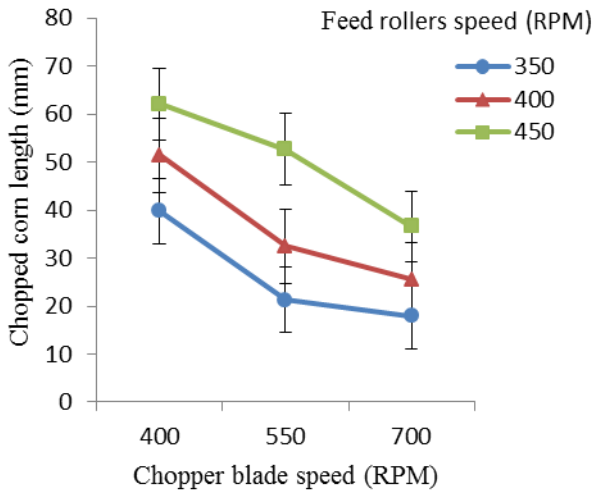
با توجه به شکل ۸، اثر متقابل سرعت تیغه خردکن و سرعت غلتک تغذیه بر ظرفیت دستگاه، در سرعت ۴۰۰ دور در دقیقه و سرعت غلتک تغذیه ۳۵۰ دور در دقیقه کمترین میزان ظرفیت دستگاه و در سرعت ۵۵۰ دور در دقیقه و سرعت غلتک تغذیه ۴۵۰ دور در دقیقه بیشترین میزان ظرفیت دستگاه به‌دست آمد. با افزایش سرعت تیغه خردکن از ۵۵۰ به ۷۰۰ دور در دقیقه، ساقه‌های ذرت فرصت کافی برای داخل شدن به قسمت برش را نداشته و سرعت زیاد تیغه خردکن باعث پس‌زدن ذرت شد. در نتیجه ظرفیت دستگاه کاهش پیدا کرد.



شکل ۸– اثر متقابل سرعت تیغه خردکن و سرعت غلتک تغذیه بر ظرفیت دستگاه

Fig.8. Interaction between the chopper blades speed and feed roller speed on machine capacity

نتایج حاصل از شکل ۹ اثر متقابل سرعت تیغه خردکن و سرعت غلتک تغذیه بر اندازه طول ذرت خرد شده را نشان می‌دهد. بیشترین طول ذرت خرد شده در سرعت تیغه ۴۰۰ دور در دقیقه و سرعت غلتک تغذیه ۴۵۰ دور در دقیقه و کمترین طول ذرت خرد شده در سرعت دوران ۷۰۰ دور در دقیقه و سرعت غلتک تغذیه ۳۵۰ دور بر دقیقه به‌دست آمد. از آنجایی‌که طول مناسب ذرت خرد شده برای تازه‌خوری دام بین ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر می‌باشد (Tamaskani Zahedi, 2014).



شکل ۹– اثر متقابل سرعت تیغه خردکن و سرعت غلتک تغذیه بر طول ذرت خرد شده

Fig.9. Interaction between the chopper blades speed and feed roller speed of chopped corn length

سرعت مناسب تیغه خردکن و غلتک تغذیه به‌ترتیب ۵۵۰ و ۳۵۰ دور در دقیقه، ۷۰۰ و ۴۰۰ دور در دقیقه، ۷۰۰ و ۴۵۰ دور در دقیقه، انتخاب شد. سرعت‌های دوران مناسب تیغه خردکن و غلتک تغذیه به‌ترتیب ۵۵۰ و ۳۵۰ دور در دقیقه، ۷۰۰ و ۳۵۰ دور در دقیقه، ۷۰۰ و۴۰۰ دور در دقیقه، انتخاب گردید.

نتیجه‌گیری

از آنجایی‌که طول مناسب ذرت خرد شده برای مصرف تازه‌خوری دام ۲۰ تا ۳۰ میلی‌متر می‌باشد. مناسب‌ترین سرعت تیغه خردکن از نظر طول ذرت خرد شده، کمترین انرژی مصرفی مخصوص، بیشترین ظرفیت دستگاه، ۵۵۰ دور بر دقیقه و مناسب‌ترین سرعت غلتک تغذیه از نظر طول ذرت خرد شده و انرژی مصرفی مخصوص، ۴۰۰ دور بر دقیقه می‌باشد. برای مصرف خوراک بز و گوسفند که نیاز به‌اندازه کوچک‌تری دارند بهتر است از سرعت غلتک تغذیه ۳۵۰ دور در دقیقه (میانگین طول ذرت خرد شده ۱۰ تا ۲۰ میلی‌متر) استفاده گردد.

سپاسگزاری

از زحمات آقایان محمد علی روحی، عمار قلی‌زاده و امیر هاشمی‌نژاد که در انجام این تحقیق ما را یاری نمودند، تقدیر و تشکر به‌عمل می‌آید.

References

1. Adapa, P., L. Tabil, and G. Schoenau. 2011. Grinding performance and physical properties of non-treated and steam exploded barley, canola, oat and wheat straw. Biomass and Bioenergy 35: 549-561.
2. Azadbakht, M., A. R. Asl, and K. T. Zahedi. 2014. Energy requirement for cutting corn stalks (Single Cross 704 Var.). World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering 8: 479-482.
3. Behrozi-lar, M. 1999. Engineering parinciples of Agricultural Machines. Islamic Azad University of Tehran. (In Farsi).
4. Bitra, V. S., A. R. Womac, C. Igathinathane, P. I. Miu, Y. T. Yang, D. R. Smith, N. Chevanan, and S. Sokhansanj. 2009. Direct measures of mechanical energy for knife mill size reduction of switchgrass, wheat straw, and corn stover. Bioresource Technology 100: 6578-6585.
5. Chen, Y., J. L. Gratton, and J. Liu. 2004. Power requirements of hemp cutting and conditioning. Biosystems Engineering 87: 417-424.
6. Halyk, R., and L. Hurlbut. 1968. Tensile and shear strength characteristics of alfalfa stems. Transactions of the ASAE 11: 256-0257.
7. Igathinathane, C., A. Womac, and S. Sokhansanj. 2010. Corn stalk orientation effect on mechanical cutting. Biosystems Engineering 107: 97-106.
8. Ince, A., S. Uğurluay, E. Güzel, and M. Özcan. 2005. Bending and shearing characteristics of sunflower stalk residue. Biosystems Engineering 92: 175-181.
9. Krone, B., and R. Heinz. 2002. Harvesting maching, especially a self-propelled pick-up chopper. United States Patent. Noumber: US 2002/0029552 A1.Mar.14.
10. McRandal, D., and P. McNulty. 1980. Mechanical and physical properties of grasses. Transactions of the ASAE 23: 816-821.
11. Shadravan, I. 2007. Mechanical Engineering Design. Tehran University Publisher.
12. Tabatabaei, K., and R. R. Hadipoor. 2016. Effect of blade parameters and some physical propertis sillage corn stem of the cutting force, cutting strerm and cutting Special energy. in Final Research Report. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
13. Tamaskani Zahedi, K. 2014. Design, Development and evaluation of crushing machine for corn.M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture, Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
14. Womac, A., M. Yu, C. Igathinathane, P. Ye, D. Hayes, S. Narayan, S. Sokhansanj, and L. Wright. 2005. Shearing characteristics of biomass for size reduction. ASAE Paper 56058.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 8, No. 2, Fall - Winter 2018, p. 463-473

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۸، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۷، ص ۴۷۳-۴۶۳

Brife Report

Design, Construction and Evaluation of a Silage Corn Chopper Equipped with Electromotor Power Unit

R. Hadipiour Rokni[1]- A. Rezaei Asl[2*]- R. Tabatabaei koloor[3]

Received: 14-05-2017
Accepted: 18-09-2017

Introduction

In most small and medium-size traditional animal farms, silage corn is chopped manually. In order to prepare appropriate chopper for small animal production firms, a small electrical powered chopper was designed and developed.

Materials and Methods

The machine consisted of different parts, including chassis, driveline, power transmission, feeding and cutting unit. To provide the power for cutting cylinder and feeding rollers, 3.7 kW and 1.5 kW electro-motors were selected and used, respectively. Power was transferred from electro-motors to the cutting cylinder and feeding rollers by pulley and belts. Feeding entrance area was 62.5 $cm^2$with theoretical capacity of 1.13 kgs^{-1} and feeding unit power consumption of 0.97 kW. The main parts of feeding and cutting units were analyzed by ANSYS Software. Silage corn was provided at harvest time from the Dashte-Naz, Sari province, and transported to laboratory, immediately. The effect of cutting blades speed (400, 550 and 700 RPM) and feed rollers speed (350, 400 and 450 RPM) on the chopper performance (cutting and feeding energy consumption, chopped corn length and machine capacity) were investigated. The results then analyzed using completely randomized design in triplicates.

Results and Discussion

Analysis of variance showed that the speed of cutting blades, speed of feeding rollers and their interactions had significant effect ($p <0.01$) on the energy consumption of cutting blades and machine capacity. The effect of speed of feeding rollers was significant on the energy consumption of feeding rollers at 1% level of significance. Also, The effect of speed of chopping blades, speed of feeding rollers and their interactions were significant on the length of chopped corn ($p <0.01$). Machine capacity increased by increasing in speed of chopping blades from 400 to 550 RPM and decreased by increasing from 550 to 700 RPM. Increasing in the speed of the blades at the moment of impact, caused to effectively cut the stem fibers before being compressed or bent. Increasing the speed beyond 550 RPM provided insufficient time for stem movement toward the blades and therefore, machine capacity decreased. By increasing the speed of feeding rollers, the consumed energy by cutting blades decreased and the energy consumption of feeding rollers, the length of chopped corn and the machine capacity increased. Since the machine capacity is depending on time, increasing in feeding rollers speed, decreased the time for chopping the feed stems resulted decreasing in machine capacity. Also, results depicted that the interaction between speed of cutting blades and feeding rollers had meaningful effect on the consumed energy by cutting blades. The maximum energy consumption was at the blade speed of 700 RPM and the feeding rollers speed of 350 RPM, and the minimum energy consumption was at the blade speed of 400 RPM and feeding rollers speed of 450 RPM. The maximum and minimum length of chopped corns was obtained at the blade speed of 400 RPM and 700 RPM, respectively and correspondingly at the rollers speed of 450 RPM and 350 RPM, respectively. The maximum capacity of the machine was obtained at the blade speed of 550 RPM and rollers speed of 450 RPM.

---

1 and 2- Graduated student and Assistant Professor, respectively, Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University, Gorgan, Iran
3- Associate Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
(*- Corresponding Author Email: abrzaeiasl@gmail.com)

Conclusions

Since the length of the chopped corn for animal feeding is 20-30 mm, the optimum speed of cutting blades, minimum energy consumption and maximum machine capacity was obtained as 550 RPM and the optimum speed of feeding rollers was at 400 RPM. For feeding high yielding dairy cows, goats and sheeps that need smaller sized forage, it recommended that feeding rollers speed to be adjusted at 350 RPM. At the same speed, the mean length of chopped corn was 8-19 mm.

Keywords: Chopper, Cutting blade, Silage corn